

氏 名	藤井 俊博
学 位 の 種 類	博士 (理学)
学 位 記 番 号	第 5821 号
学位授与年月日	平成 24 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者
学 位 論 文 名	<b>Measurements of the Energy Spectrum and the Mass Composition of Ultra-High Energy Cosmic Rays with Telescope Array Fluorescence Detectors in Monocular Mode</b> (テレスコープアレイ大気蛍光望遠鏡の単眼解析による極高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトルと質量組成の測定)
論文審査委員	主査 教 授 林 嘉夫 副査 教 授 神田 展行 副査 准教授 荻尾 彰一

### 論 文 内 容 の 要 旨

ちょうど 100 年前の 1912 年、V. F. Hess によって地球に入射する高エネルギーの放射線「宇宙線」が発見された。現在までに  $10^8$  eV から  $10^{20}$  eV を超える広い範囲の宇宙線のエネルギースペクトルと質量組成が測定されているが、その起源は明らかになっていない。この中で  $10^{20}$  eV 付近のエネルギーを持つ宇宙線は「極高エネルギー宇宙線」と呼ばれ、その到来頻度は 1 年間に  $100 \text{ km}^2$  あたりに 1 粒子と極端に少ない。だが、そのエネルギーは現在の人類最大の加速器で到達可能な 1 粒子あたりの加速エネルギーよりも 7 桁も大きく、この極高エネルギー宇宙線は、爆発的な天体現象や現在の宇宙に残された初期宇宙の痕跡粒子を起源に持つと推定され、この起源を解明することは宇宙物理学の大きな課題である。

この宇宙線の起源解明のため、北半球最大の国際宇宙線観測実験であるテレスコープアレイ実験が 2008 年より米国ユタ州で定常運転を開始した。

本研究では、大気蛍光望遠鏡から 1 次宇宙線の情報を再構成する単眼解析手法を確立し、この単眼解析手法を用いて、2008 年 1 月から 2011 年 9 月までのテレスコープアレイ大気蛍光望遠鏡の測定データを解析し、解析された 2 万を越える空気シャワー事象をもとに、 $10^{17.5}$  eV 以上のエネルギースペクトルと質量組成を測定した。結果、測定された質量組成は、 $10^{18.5}$  eV までに重い組成から軽い組成への遷移が見られ、 $10^{18.5}$  eV 以上では純陽子モデルと矛盾しない結果となった。さらにエネルギースペクトルについては、 $10^{17.5}$  eV から  $10^{20.0}$  eV という幅広いエネルギー領域のスペクトルを求めた。得られたスペクトルの構造は、極高エネルギーの陽子と宇宙背景放射が相互作用することで生成される  $10^{18.7}$  eV 付近の凹みと  $10^{19.6}$  eV 以上のカットオフ構造と一致した。さらに質量組成の結果と合わせて考えると、銀河系内での宇宙線の加速限界は  $10^{18.5}$  eV であり、このエネルギー以上の宇宙線は銀河系外に起源を持つと考察される。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文の主題は、 $10^{17.5}$  eV から  $10^{20.0}$  eV までの広いエネルギー範囲での極高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトルと質量組成の測定である。本論文の結論として、およそエネルギーの -3.1 乗で減少するべき型スペクトルの上に  $10^{18.7}$  eV にディップ、 $10^{19.6}$  eV にはカットオフがあることを確認し、さらに  $10^{18.5}$  eV まではエネルギーの増加とともに平均組成が「軽く」なって純粋陽子に至り、このエネルギー以上では組成が変化しないことを明らかにした。観測は、2008 年から米国ユタ州で定常観測を続けている日米韓露国際共同実験「宇宙線望遠鏡」の大気蛍光望遠鏡によって行われ、藤井君は、約 3.7 年間の観測データのための解析プログラムの開発と解析に従事した。中でも、逆モンテカルロ法による事象再較正法の発案と製作、ピエール・オージェ実験との直接比較を可能にしたデータ選別法「fiducial volume カット」の研究、観測装置の感度・測定精度・系統誤差の詳細かつ慎重な評価、は藤井君による特筆すべき貢献である。測定結果は、極高エネルギー宇宙線の起源を解明するための非常に重要な結果で、国内外の学会で既に発表されている。また、これまでほとんど観測が行われてこなかった  $10^{18}$  eV 領域でのエネルギースペクトルと質量組成の変化を明らかにしたことは、主要な宇宙線起源のこのエネルギー領域での遷移を示唆するものであり、今後の高統計かつ高精度な

宇宙線観測計画を後押しするものである。これらの研究成果の当該研究領域の進展に対する貢献は大きく、博士課程の研究として高く評価されるものである。よって、本論文は博士（理学）の学位を授与するに値すると審査した。